УДК 621.86.065.3
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2019-4-19-23

О КРУЧЕНИИ НЕСУЩИХ КАНАТОВ МАЯТНИКОВЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ

Короткий А. А., Хальфин М. Н., Иванов Б. Ф., Панфилов А. В., Каланчуков И. А.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

korot@novoch.ru
xalfin@km.ru
ivanov@ikc-mysl.ru
panfilov@ikc-mysl.ru
ilyaskalanchukov@gmail.com

Наблюдения за эксплуатацией маятниковых пассажирских канатных дорог (МПКД) позволили авторам предположить наличие деформаций кручения несущих канатов закрытой конструкции при воздействии эксплуатационных нагрузок. При этом суммарный вес каната и вагона является поперечной нагрузкой, а сам канат нагружен продольными силами сопротивления на его отдельных участках. Выполнены теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение наличия деформаций кручения несущего каната МПКД под действием силы трения между канатом и башмаками линейных опор. Предложен новый способ отбраковки таких канатов, основанный на контроле деформаций кручения.

Ключевые слова: несущий канат, маятниковая пассажирская канатная дорога, крутильные деформации, способ отбраковки канатов, башмаки линейных опор, подвижный состав, запас прочности, экспериментальные исследования кручения, лазерный луч.

UDC 621.86.065.3
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2019-4-19-23

ON THE TORSION OF TRACK CABLES OF JIG BACK ROPEWAYS

Korotkiy A. A., Khalfin M. N., Ivanov B. F., Panfilov A. V., Kalanchukov I. A.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

korot@novoch.ru
xalfin@km.ru
ivanov@ikc-mysl.ru
panfilov@ikc-mysl.ru
ilyaskalanchukov@gmail.com

Observations of the operation of jig back ropeways allowed us to suggest the presence of torsion of track cables of a closed structure under the influence of operational loads. In this case, the total weight of the cable and the car is a transverse load, and the cable itself is loaded with longitudinal resistance forces in its individual sections. The paper provides theoretical substantiation and experimental confirmation of the presence of torsional deformations of track cables of jig back ropeways under the influence of friction between the cable and the rocking saddles. A new method of rejection of such cables based on the control of torsional deformations is proposed.

Keywords: track cables, jig back ropeways, torsional deformations, method of rejection of cables, rocking saddles, rolling stock, safety margin, experimental studies of torsion, laser beam

Введение. В работах [1–6] отмечается, что при эксплуатации МПКД несущий канат подвергается растягивающим нагрузкам. Вместе с тем имеются попытки обоснования наличия крутильных деформаций, обусловленных воздействием силы трения от проскальзывания каната на башмаках линейных опор [7, 8].

Теоретическое обоснование кручения несущего каната МПКД. Согласно федеральным нормам и правилам [9, 10], отношение минимального натяжения несущего каната *T* к весу груженого подвижного состава $M_в$ МПКД должно соответствовать следующим условиям:

- для каната с натяжным устройством $\frac{T}{M_в} \geq 10$;
- для каната с заякоренными концами $\frac{T}{M_в} \geq 8$.

Силу трения при перемещении вагона по башмаку можно определить по формуле:

$$P = cG_n + \mu g(g_0 + m_в)L + \varepsilon T, \quad (1)$$

где G_n — вес противовеса; $m_в$ — масса вагона, приходящаяся на один погонный метр несущего каната; g_0 — масса одного погонного метра каната; μ — коэффициент трения скольжения каната по башмаку, μ = 0,2; c — коэффициент потерь на жесткость несущего каната, c = 0,035; ε — коэффициент, учитывающий угол наклона несущего каната, ε = 0,17; L — длина натяжного участка каната; T — натяжение несущего каната; g — ускорение свободного падения.

Выражение для натяжения несущего каната МПКД имеет вид [2]:

$$T = G_n + 0{,}5 g_0 g l,$$

где l — длина натяжной части каната.

Значения напряжений растяжения в проволоках несущего каната определяются выражениями, представленными в [3]:

- для участка раскручивания несущего каната на башмаке:

$$\sigma_p = E \cdot \left(\begin{array}{l} (G_n + \frac{P}{2}) \cdot \frac{1}{2A_{11}} \cdot \cos^2\alpha + \\ + \frac{A_{22} \cdot P}{A_{11} \cdot A_{22} - A_{12}^2} \cdot \cos^2\alpha - \\ - \frac{A_{12}}{A_{11} \cdot A_{22} - A_{12}^2} \cdot \frac{P}{2} \cdot r \cdot \sin\alpha\cos\alpha \end{array} \right); \quad (2)$$

- для участка закручивания каната:

$$\sigma_p = E \cdot \left(\begin{array}{l} (G_n + \frac{P}{2}) \cdot \frac{1}{2A_{11}} \cdot \cos^2\alpha - \\ - \frac{A_{22} \cdot P}{A_{11} \cdot A_{22} - A_{12}^2} \cdot \cos^2\alpha + \\ + \frac{A_{12}}{A_{11} \cdot A_{22} - A_{12}^2} \cdot \frac{P}{2} \cdot r \cdot \sin\alpha\cos\alpha \end{array} \right), \quad (3)$$

где E — модуль упругости; r — радиус свивки слоя проволок каната; α — угол свивки; A_{11}, A_{12}, A_{22} — коэффициенты жесткости несущего каната закрытой конструкции [11].

Подставив значение силы трения, найденное по формуле (1), в выражения (2) и (3), можно определить суммарные напряжения от растяжения и кручения несущего каната на его участках раскручивания и закручивания. Для каната закрытой конструкции при запасах прочности 2,7 и 3,15 [9] растягивающие напряжения зависят от отношения $\frac{P}{T}$. Это отношение принимают в диапазоне 0,08 … 0,2. Тогда растягивающие напряжения будут находиться в соответствующем диапазоне 90 … 180 МПа. Такое нагружение каната сопровождается усталостными явлениями. В этих условиях при достижении параметра $\frac{P}{T}$ ненормативного значения ($\frac{P}{T}$ > 0,2) может произойти об-

рыв наружных фасонных проволок и развитие других дефектов. Это снизит срок службы неремонтируемого несущего каната закрытой конструкции МПКД.

Устройства и методика эксперимента. Для экспериментального подтверждения наличия деформации кручения несущих канатов МПКД разработано устройство, состоящее из подвижного и неподвижного кронштейнов, закрепленных на канате. На подвижном кронштейне установлен экран, на неподвижном — лазерная линейка. Неподвижный кронштейн может поворачиваться вместе с канатом при развитии крутильных деформаций. В результате на экране подвижного кронштейна фиксируется угол поворота луча. Экспериментальное исследование проводилось на МПКД НИИ «Горлесэкол», г. Сочи. Ниже представлены параметры этой дороги:

- длина дороги 1,1 км;
- количество вагонов 2;
- число колес вагона 8;
- число пассажиров в вагоне 30;
- масса вагона 1,1 т;
- масса натяжного груза 44 т.

Для измерения деформации кручения несущего каната устройство закреплялось на расстоянии 3-х метров от крепления каната на приводной станции (рис. 1).

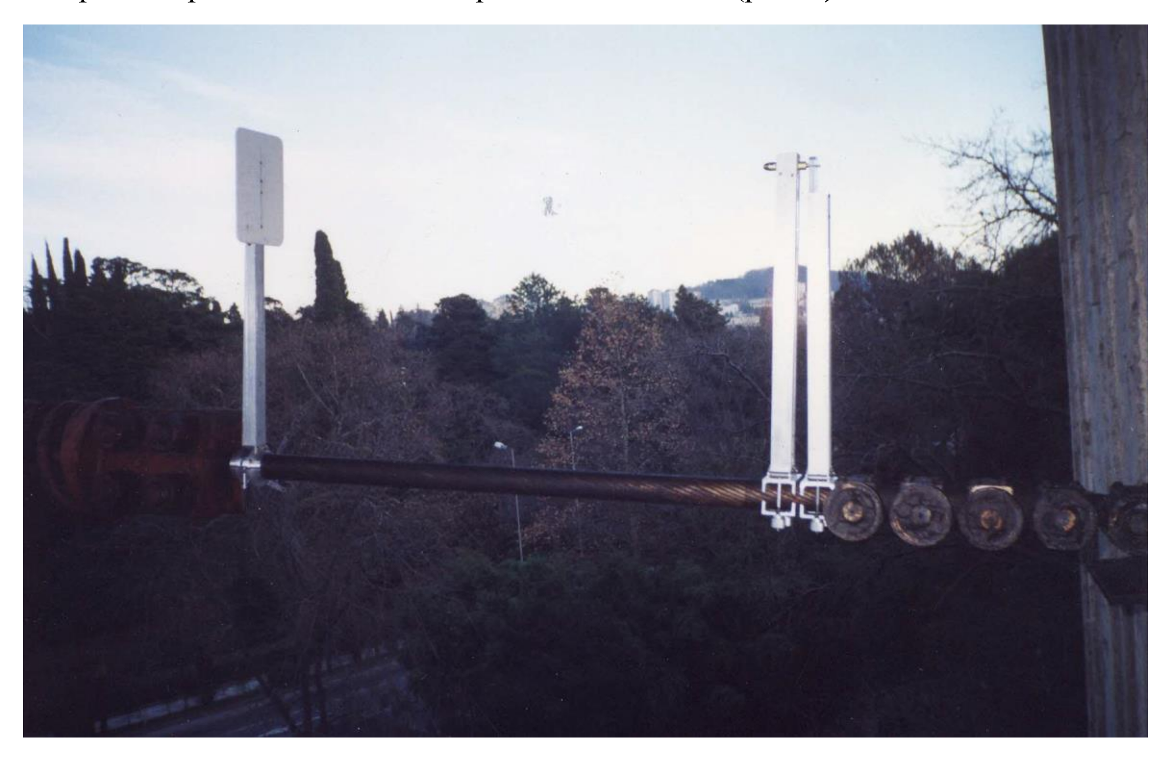


Рис. 1. Общий вид устройства для замера кручения несущего каната закрытой конструкции

После настройки лазерного луча груженый вагон на ревизионной скорости перемешался в направлении от приводной станции к натяжной. При этом отклонение лазерного луча от центра экрана составило от 6° до 8° (рис. 2). Погрешность измерения относительного кручения несущего каната не превысила $7{\cdot}10^{-3}$ мм$^{-1}$.



Рис. 2. Фиксация кручения несущего каната

Анализ результатов исследования. Полученные результаты дали возможность предложить способ отбраковки канатов, основанный на сравнении деформаций кручения их участков, расположенных вблизи места закрепления. В процессе эксплуатации крутильная жесткость канатов уменьшается за счет износа, коррозии, технологических несовершенств. Разброс механических свойств, неравномерность натяжения проволок как наружного, так и внутренних слоев способствуют увеличению деформаций кручения. Поэтому, периодически замеряя деформацию кручения каната, можно контролировать снижение его прочности.

В работе [8] приведен расчет относительной деформации кручения, представленной как комплекс деформаций, вызванных технологическими несовершенствами и трением несущего каната на башмаке опоры. С учетом требований Федеральных норм и правил о необходимости отбраковки несущего закрытого каната при снижении площади поперечного сечения проволоки на 10 % [9, 10], можно записать формулу для отбраковочного показателя по крутимости:

$$\Delta_n = \frac{F_н}{F_и} \cdot 100\% = \frac{100\%}{0,9} = 111\%,$$

где $F_н$ и $F_и$ — площадь поперечного сечения, соответственно, нового и изношенного каната.

Это значит, что при превышении деформации кручения несущего закрытого каната на 11 % его следует заменить.

Выводы. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено наличие деформаций кручения несущих закрытых канатов маятниковых пассажирских дорог за счет трения между канатом и башмаками линейных опор.

Предложен способ отбраковки несущих канатов МПКД, основанный на снижении крутильной жесткости изношенного каната в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. Дукельский, А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны / А. И. Дукельский. — Ленинград : Машиностроение, 1966. — 428 с.

2. Белая, Н. М. Основы расчета несущих канатов / Н. М. Белая // Стальные канаты. Вып. 2. — Киев : Техника, 1965. — С. 139–144.

3. Сергеев, С. Т. Стальные канаты / С. Т. Сергеев. — Киев : Техника, 1974. — 326 с.

4. Беркман, Н. Б. Подвесные канатные дороги / Н. Б. Беркман [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1984. — 264 с.

5. Патарая, Д. И. Расчет и проектирование канатных систем на примере подвесных дорог / Д. И. Патарая. — Тбилиси: Мецниереба, 1990. — 102 с.

6. Мамаев, Ю. Д. Оптимальные условия эксплуатации несущих канатов на подвесных канатных дорогах / Ю. Д. Мамаев // Сталь. — 1995. — № 1. — С. 44–46.

7. Хальфин, М. Н. К расчёту на прочность несущего каната подвесной канатной дороги / М. Н. Хальфин, Б. Ф. Иванов, Е. В. Сорокина // Интерстроймех-2011 : материалы междунар. науч.-техн. конф. — Могилёв, 2011. — С. 237–240.

8. Хальфин, М. Н. Кручение и волнистость несущих закрытых канатов подвесных канатных дорог / М. Н. Хальфин, Е. В. Сорокина, Б. Ф. Иванов. — Новочеркасск : Набла, 2004. — 117 с.

9. Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров : Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности : [утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 6 февраля 2014 г.] / Консорциум Кодекс. — Режим доступа: http:// docs.cntd.ru/ document/ 499077072 (дата обращения: 10.10.2019).

10. О внесении изменений в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров : [утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 28 апреля 2016 г.] / Контур. Норматив. — Режим доступа: https:// normativ. kontur.ru/ document?moduleId=1&documentId=273818 (дата обращения: 10.10.2019).

11. Глушко, М. Ф. Стальные подъемные канаты / М. Ф. Глушко. — Киев : Техника, 1966. — 327 с.

Об авторах:

Короткий Анатолий Аркадьевич,
заведующий кафедрой «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), профессор,
korot@novoch.ru

Хальфин Марат Нурмухамедович,
профессор кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), профессор,
xalfin@km.ru

Иванов Борис Фёдорович,
профессор кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), кандидат технических наук,
ivanov@ikc-mysl.ru

Панфилов Алексей Викторович,
доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), кандидат технических наук,
panfilov@ikc-mysl.ru

Каланчуков Ильяс Александрович
студент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1),
ilyaskalanchukov@gmail.com